



RUDINEI LUIZ CERON

**REPETIBILIDADE DA PRODUTIVIDADE DE
LINHAGENS DE SOJA EM AMBIENTES DO
ESTADO DO MATO GROSSO**

LAVRAS – MG

2015

RUDINEI LUIZ CERON

**REPETIBILIDADE DA PRODUTIVIDADE DE LINHAGENS DE SOJA
EM AMBIENTES DO ESTADO DO MATO GROSSO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas – Mestrado Profissional, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Magno Antônio Patto Ramalho

Coorientador

Dr. Antônio Airton Morceli Junior

LAVRAS - MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ceron, Rudinei Luiz.

Repetibilidade da produtividade de linhagens de soja em
ambientes do estado do Mato Grosso / Rudinei Luiz Ceron. – Lavras
: UFLA, 2016.

47 p. : il.

Dissertação(mestrado profissional)–Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador: Magno Antônio Patto Ramalho.

Bibliografia.

1. Melhoramento genético. 2. *Glycine max*. 3. Interação
genótipo x ambiente. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

RUDINEI LUIZ CERON

**REPETIBILIDADE DA PRODUTIVIDADE DE LINHAGENS DE SOJA
EM AMBIENTES DO ESTADO DO MATO GROSSO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas – Mestrado Profissional, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 22 de dezembro de 2015.

| | |
|-----------------------------------|----------|
| Dr. Magno Antônio Patto Ramalho | UFLA |
| Dr. Antônio Airton Morceli Junior | MONSANTO |
| Dr. Eduardo de Souza Lambert | MONSANTO |

Dr. Magno Antônio Patto Ramalho
Orientador

**LAVRAS - MG
2015**

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo, sobre tudo.

À minha esposa Jussara pela contribuição na minha vida, e ser ela fonte de inspiração, dedicação e perseverança, pelo seu apoio incondicional.

À minha filha Nathalia, por sua compreensão, alegria, cumplicidade e humanidade.

À Universidade Federal de Lavras e ao Curso de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, pela oportunidade de realização do curso.

Ao meu Sogro Jorge e Sogra Dona Olga, pelo apoio, cuidado, dedicação, carinho e segurança com que dedicam a nossa casa e a minha filha.

Aos meus pais Valdir e Emília, pelo apoio em todas as etapas de minha vida.

Ao Professor e amigo Dr. Magno Antônio Patto Ramalho por sua orientação, sua profissionalidade, dedicação e sabedoria.

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação, pela competência técnica, pedagógica e relacional, dinamizadas no processo de formação.

A todos os colegas e amigos de percurso, em especial: Maxuel, Asturio, Diego, Keila, Itamara e Vinicius pelo convívio, amizade e companheirismo.

Ao grande colega Indalécio, por sua dedicação e compreensão, e a todos os colegas do departamento Genética e Melhoramento, pela contribuição recebida.

À Monsanto, pela confiança, investimento e oportunidade de aperfeiçoamento.

Ao Grande amigo e colega Dr. Antônio Ayrton Morceli Junior, pelo direcionamento, incentivo e contribuição em todas as etapas do curso.

Aos colegas de trabalho que sempre apoiaram, incentivando e contribuindo com indicações e sugestões.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Meus profundos e fraternos agradecimentos!

RESUMO

A recomendação de novas cultivares, melhores que as já existentes, para o estado do Mato Grosso, é um enorme desafio. No estado, são cultivados mais de nove milhões de hectares de soja, em amplas condições de clima, solo e manejo. Assim, é esperado que a interação das cultivares com os ambientes, seja expressiva. Para os melhoristas não só é importante quantificar a interação, mas, sobretudo, propor medidas para a sua mitigação. Neste contexto, os objetivos deste trabalho foram: quantificar a interação dos genótipos x ambientes no estado do Mato Grosso e; estimar a repetibilidade do desempenho das progênies nos ambientes dois a dois, como estratégia de seleção, visando o aperfeiçoamento do processo seletivo. Para tanto, foram utilizados dados de uma empresa de sementes, avaliando-se nove linhagens, sendo os experimentos conduzidos nas safras 2010/2011, em 3 locais, 2011/2012, em 12 locais e, 2012/2013, em 11 locais. Foi detetada diferença significativa entre as linhagens, em 76,9% dos experimentos. Nenhuma linhagem apresentou desempenho superior em todos os ambientes. A interação linhagens x locais foi superior à interação locais x anos. As estimativas das correlações do desempenho das linhagens nos ambientes dois a dois, foram negativas ou nulas, evidenciando que a repetibilidade do desempenho das linhagens é muito pequena. Numa condição como essa, a decisão dos melhoristas na recomendação de uma nova cultivar é muito frágil. A segurança só pode ser aumentada se for avaliado maior número de linhagens, no maior número de ambientes possível.

Palavras-chave: Melhoramento genético. *Glycine max*. Interação genótipo x ambiente. Correlação.

ABSTRACT

The recommendation of new cultivars, better than those existent in the state of Mato Grosso, Brazil, is a considerable challenge. In this state, more than nine million hectares of soybean are cultivated, under a wide range of climate, soil and management conditions. Thus, it is expected that the interactions between cultivar and environment be expressive. For plant breeders, it is not only important to quantify this interaction, but to propose measures for its mitigation. Within this context, this work was conducted with the objectives of: quantifying the genotype x environment interactions and estimate the repeatability of the performance of lines in the environments, in pairs, as selection strategy, aiming at improving the selection process. We used data obtained from a seed company. We evaluated nine lines, conducting the experiments using the 2010/2011 harvest at 3 locations, 2011/2012 harvest at 12 locations and 2012/2013 harvest at 11 location. A significant difference was detected between the lines in 76.9% of the experiments. No line presented superior performance at all locations. The line x location interaction was superior to the location x harvest interaction. The estimated for line performance correlation in the environments, in pairs, was negative or null, demonstrating that line performance repeatability is very low. Under conditions such as those of the experiment, the decision of the plant breeders in recommending a new cultivar is very fragile. Security can only be increased if evaluating a higher number of lines in the highest number of environments possible.

Keywords: Genetic improvement. *Glycine max*. Genotype x environment interaction. Correlation.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----------|--|----|
| Figura 1 | Esquema de condução de populações segregantes pelo método do SSD..... | 17 |
| Figura 2 | Locais de avaliação das progênies de soja no estado do Mato Grosso, nos anos de 2011, 2012 e 2013 | 23 |
| Figura 3 | Produtividade média das nove linhagens de soja (kg/ha) em cada um dos 26 ambientes do estado do Mato Grosso | 31 |
| Figura 4 | Contribuição das linhagens de soja avaliadas para interação. Dados obtidos em 26 ambientes no Estado do Mato Grosso | 36 |
| Figura 5 | Contribuição dos ambientes de avaliação das linhagens de soja para a interação. Dados obtidos no Estado do Mato Grosso..... | 37 |
| Figura 6 | Representação gráfica do desempenho das duas melhores linhagens G e B e das duas com o pior desempenho I e D nos 26 ambientes do MT, segundo Nunes, Ramalho e Abreu (2005). A - linhagens com maior adaptação e estabilidade, B - linhagens menos adaptadas e estáveis | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|---|----|
| Tabela 1 | Detalhes dos experimentos de avaliação de progênies de soja conduzidos nas gerações $F_{4:6}$ na safra 2010/2011, $F_{4:7}$ na safra 2011/2012 e $F_{4:8}$ na safra 2012/2013 | 23 |
| Tabela 2 | Coordenadas geográficas, altitude, precipitação média anual do local e temperatura média. Dados obtidos dos 26 ambientes em que foram avaliadas as linhagens/progênies de soja no Mato Grosso..... | 24 |
| Tabela 3 | Média (kg/ha), grau de liberdade (GLE) e quadrado médio do erro, acurácia (r_{gg}) e estimativa do F e o P valor do efeito de linhagem. Dados obtidos dos 26 ambientes em que foram avaliadas as linhagens de soja no Mato Grosso | 28 |
| Tabela 4 | Resumo da análise de variância conjunta de produtividade de grãos de soja (Kg/ha). Dados obtidos na avaliação de linhagens de soja em 26 ambientes do estado do Mato Grosso..... | 29 |
| Tabela 5 | Média das linhagens de soja em kg/ha. Dados médios de 26 ambientes do estado do Mato Grosso durante os anos de 2011/2012/2013 | 30 |
| Tabela 6 | Resumo da análise da variância conjunta de produtividade de grãos (kg/ha) de soja. Dados obtidos na avaliação de nove linhagens de soja, durante dois anos, no estado do Mato Grosso..... | 32 |
| Tabela 7 | Estimativas das correlações (r) do desempenho das linhagens nos ambientes dois a dois. Dados obtidos na avaliação de linhagens de soja em 26 ambientes, no Estado do Mato Grosso | 34 |

| | | |
|----------|---|----|
| Tabela 8 | Produtividade média das linhagens nos 26 ambientes em destaque, ambiente 9 e 24, com as 4 melhores linhagens por ambiente. Dados obtidos no Estado do Mato Grosso durante os anos de 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 | 35 |
|----------|---|----|

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 | A cultura da soja | 14 |
| 2.2 | A Soja no Mato Grosso | 14 |
| 2.3 | Métodos de condução das populações segregantes em plantas autógamas | 16 |
| 2.4 | Interação dos genótipos x ambientes | 19 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 3.1 | Genótipos avaliados | 22 |
| 3.2 | Análises realizadas | 24 |
| 4 | RESULTADO | 27 |
| 5 | DISCUSSÃO | 39 |
| 6 | CONCLUSÃO | 44 |
| | REFERÊNCIAS | 45 |

1 INTRODUÇÃO

O sucesso obtido no melhoramento genético da soja no Brasil é inquestionável. Isso ocorreu, sobretudo, como fruto de uma enorme competição entre as empresas públicas e privadas, na produção de cultivares. Essa competição estimulou o investimento em recursos humanos e em infraestrutura, na obtenção de novas linhagens, superiores às preexistentes.

Nos programas de melhoramento, anualmente são realizadas inúmeras hibridações, e obtidas populações segregantes. Essas são avançadas por meio de diferentes métodos de condução. Independente desses métodos, nas gerações mais avançadas, as progênies são avaliadas em experimentos com repetições em alguns ambientes, os quais devem representar as condições de cultivo da região. Essa última etapa é que demanda mais recursos das empresas.

Ocorrendo variação genética entre as progênies/linhagens, e considerando as diferentes condições de cultivo, é esperado que ocorra interação dos genótipos x ambientes (GA). As progênies/linhagens são selecionadas num determinado ano, esperando que a performance relativa permaneça nos sucessivos anos de uso da cultivar pelos agricultores. De modo análogo, a seleção é efetuada em um local, e espera-se que as linhagens tenham performance coincidente nos diferentes locais e manejo, em que serão utilizadas no futuro. Questiona-se qual o efeito da interação das progênies x condições de cultivo prevalentes no estado do Mato Grosso, no trabalho dos melhoristas.

A interação GA ocorre quando os genótipos não mostram comportamento coincidente nos diferentes ambientes (CHAVES, 2001). Ela ocorre porque a manifestação dos diferentes genes modifica-se em função das alterações nas condições ambientais (KANG, 1998).

Como a interação GA é o principal complicador do trabalho dos melhoristas, tem sido intensivamente estudada, não só por meio da sua

estimativa, como também procurando alternativas para identificar as linhagens que sejam mais adaptadas e estáveis (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; RAMALHO et al., 2012).

A metodologia a ser empregada no estudo da interação, deve ser simples e de fácil interpretação pelos melhoristas, para a sua adoção. Um parâmetro que tem sido pouco explorado nesse contexto é a estimativa da herdabilidade realizada/repetibilidade no desempenho das progênies/linhagens, nos ambientes dois a dois. Esta pode fornecer importantes informações a respeito das interações e, sobretudo, contribuir para os melhoristas estabelecerem estratégias de convivência com a interação em uma dada região.

No estado do MT são cultivados mais de 9 milhões de hectares de soja (INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA - IMEA, 2015), em diferentes condições de clima, solo e manejo, e é esperado que a interação GA seja expressiva. Como as empresas possuem dados do comportamento dos genótipos em vários ambientes, seria importante usar essa informação.

Utilizando os dados disponíveis no programa de melhoramento de soja da empresa Monsanto do Brasil, Estação Experimental de Sorriso, Mato Grosso, MT, foi conduzido esse trabalho, procurando quantificar a interação dos genótipos x ambientes, no estado do Mato Grosso, e também estimar a repetibilidade do desempenho das progênies nos ambientes dois a dois, como estratégia de seleção, visando o aperfeiçoamento do processo seletivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) pertence à família *Fabaceae*, sub-família *Papilionoideae*, tendo como centro de origem, a China e, deste país, expandiu-se para outras partes da Ásia, por volta do século XI a.C. Domesticada em latitudes compreendidas entre 30° e 45° N, foi disseminada, posteriormente, para a América do Norte, Europa e América do Sul.

No Brasil, a primeira referência de plantio experimental de soja foi no fim do século XIX, no ano de 1882, na Bahia. Somente a partir da década de 60 do século passado, é que a cultura passou a adquirir importância econômica no país, inicialmente na Região Sul, sendo suas primeiras observações registradas por Gustavo Dutra. A partir de 1970, o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), também visualizou o promissor potencial da cultura para outras regiões do Brasil, e não só para a região sul. O sucesso, como será discutido a seguir, foi enorme, com a crescente demanda por matéria-prima proteica nos países desenvolvidos, a expansão da cultura foi muito rápida do sudeste para o centro-oeste, e mais recentemente, para o norte. O Brasil, hoje, ocupa a segunda posição de maior produtor de soja no mundo.

2.2 A Soja no Mato Grosso

O estado do Mato Grosso, que é atualmente o maior produtor de soja no Brasil, apresenta ampla variação no que se refere às condições de cultivo. Dentre os fatores ambientais que mais afetam o desempenho da cultura estão a latitude, a fertilidade dos solos, e a distribuição da precipitação – chuva. Nessa

condição é esperada que ocorra uma grande interação das linhagens com os ambientes.

As pesquisas com a cultura da soja e a história do estado do Mato Grosso, possuem um forte grau de interligação. Com a abertura das fronteiras agrícolas no Mato Grosso, especialmente com a cultura, ocorreu enorme impulso no desenvolvimento do estado, a partir dos anos 70 do século passado. Nesse processo, os agricultores da região sul do país, atraídos pela oferta de terras, migraram para o centro-oeste brasileiro, promovendo uma verdadeira revolução no agronegócio do país, com a cultura da soja.

O entendimento do foto periodismo foi fator de grande relevância para o avanço da cultura da soja no centro-oeste e norte do Brasil. O cultivo da soja no Mato Grosso só foi possível após a obtenção de cultivares com período juvenil longo, isto é, que vegetam inicialmente, para só então florescerem, mesmo sob condições de noites longas. Em entrevista à revista *Agroanalysis*, o pesquisador Kiihl (2013), relatou como tudo ocorreu. De acordo com o pesquisador, tudo começou com a cultivar Santa Maria, que era utilizada no Sul, e ao que indicava, possuía boa adaptação às condições de dias curtos. Ele verificou também, que poderia fazer associação das condições do centro-oeste com as do Vale do Paraíba, colocando a soja em sucessão com o arroz. As linhagens desenvolvidas nessa condição tinham adaptação para todo o Brasil Central.

As linhagens obtidas a partir de então, associando a seleção de plantas também mais eficiente no uso de nitrogênio, sob condições de vegetação de cerrado, possibilitou a rápida expansão da cultura. O investimento no melhoramento genético no estado, porém, não parou. Atualmente, existem várias empresas públicas e privadas, que têm programas de melhoramento para a região, dentre elas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Fundação Mato Grosso (FMT), Instituto Mato-grossense do Algodão (IMA), Monsanto, Syngenta, Pionner, Dow, Bayer, Nidera, FT, Bramax, Limagran,

dentre outras pequenas empresas que também contribuem (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2004).

2.3 Métodos de condução das populações segregantes em plantas autógamas

Os métodos de condução das populações segregantes em espécies autógamas são classificados em duas categorias: i) os que não separam as fases endogâmicas e seleção, e ii) aqueles que separam essas duas fases (RAMALHO et al., 2012).

Na categoria em que não são separadas as fases endogâmicas e seleção, podem ser citados os métodos massal e genealógico, e no segundo grupo, estão os métodos do *bulk*, *bulk* dentro de progênies e o SSD (*Single Seed Descent*).

A descrição detalhada desses métodos é apresentada em vários livros de melhoramento de plantas (ALLARD, 1999; BORÉM; MIRANDA, 2005; RAMALHO et al., 2012).

O método descendente de uma única semente, também é conhecido por SSD (*Single Seed Descent*), entre os melhoristas brasileiros. Foi proposto por Gould (1939), porém, foi Brim (1966), que o tornou mais conhecido e o denominou de SSD. Para tanto, considera a taxa de multiplicação de cada planta sendo 1. Desse modo, na geração F_{∞} o número de progênies ou linhas puras seria igual ao número de plantas em F_2 . O princípio é que desde que não seja realizada nenhuma seleção durante a endogamia, o avanço da população segregante pode ser realizado sob condições artificiais, como em casa de vegetação. Esse método é particularmente vital para o clima temperado, em que as condições de inverno impossibilitam o cultivo no campo durante todo o ano (RAMALHO et al., 2012).

Na Figura 1 é mostrado o esquema de condução da população segregante, por esse método, observa-se que a partir da geração F_2 , é tomada uma semente ou uma vagem por planta. Esse processo é repetido nas sucessivas gerações. Normalmente, na geração F_5 ou F_6 , são obtidas progênies para serem avaliadas.

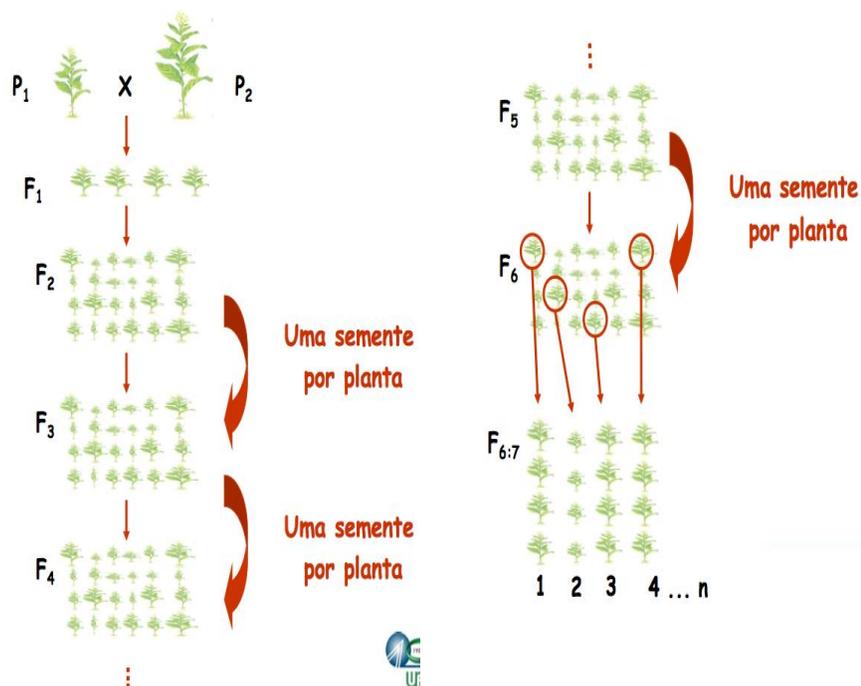


Figura 1 Esquema de condução de populações segregantes pelo método do SSD

Fonte: Ramalho et al. (2012).

Como vantagens do método, Borém e Miranda (2009, p. 226-227) relacionam que:

o SSD fornece máxima variância genética entre as linhagens na população final; atinge rapidamente o nível desejado de homozigose; é de fácil condução; não exige anotações –

registros de genealogia; pode ser conduzido fora da região de adaptação; e tem pequena demanda de área e mão de obra.

Contudo, Ramalho et al. (2012, p. 250), discutem todas essas vantagens e questionam algumas delas. Segundo eles:

a primeira, por exemplo, que fornece máxima variância, pode ser contestada. Na geração F_2 , tem-se 50% de variação genética aditiva entre plantas, e 50% que fica encoberta no heterozigoto e será liberada gradativamente com a endogamia. Como é tomada apenas uma semente por planta, somente parte da variância dentro é explorada. Assim, não é correto afirmar que explora o máximo de variância genética. Se as progênes forem obtidas em F_6 , a proporção da variância genética presente em relação a F_2 vai variar de $1 V_A$ até $31/16 V_A$. Não é correto dizer que será $31/16 V_A$, pois isso, só ocorrerá, se na amostragem da semente de cada planta, nas sucessivas gerações, forem tomadas em todas as progênes, o indivíduo mais extremo. O que na prática deve ser uma probabilidade muito pequena.

A segunda vantagem, também é questionável, dizer que com esse método se atinge rapidamente o nível desejado de homozigose. A homozigose será atingida na mesma velocidade dos demais métodos. Poder-se-ia argumentar que o tempo para avançar as gerações é menor, pois há possibilidade da semente ser realizada fora de época, em casa de vegetação. Como já comentado, contudo, no caso do Brasil, para a maioria das regiões em que se cultivam plantas anuais, o avanço das gerações pode ser realizado durante todo o ano. Portanto, a questão do tempo para atingir a homozigose é a mesma dos demais métodos.

A questão da melhor amostragem do que o método de *bulk*, por exemplo, também nem sempre é verdadeira. Primeiro, que sempre ocorre perda de plantas nas sucessivas gerações. No caso do feijão, Fouilloux e Bannerot (1988), apontam que essas perdas são da ordem de 10 a 20%.

Os autores argumentam que “se for considerada a perda de 10% das plantas em cada geração, a redução no tamanho da população original será de

35% após quatro gerações. Se a perda for de 20%, essa redução na população original chega a 60%” (RAMALHO et al., 2012, p. 250).

Para evitar essas perdas, ao invés de avançar uma semente por planta, os autores propuseram tomar uma vagem por planta, e semeadura em covas. Quando é esse o procedimento, o método passa a ser denominado de uma vagem por planta – ‘*Single Pod Descent*’. Nesse caso, uma das vantagens do método para as condições temperadas, que é o cultivo em casa de vegetação, fica mais complicada (RAMALHO et al., 2012, p. 251).

2.4 Interação dos genótipos x ambientes

O fenótipo da maioria dos caracteres depende do genótipo mais o efeito do ambiente, e da interação dos genótipos x ambientes (GA). Todos os fatores que afetam o desenvolvimento das plantas que não são de origem genética, podendo envolver locais, regiões, épocas, anos, práticas culturais ou de manejo, ou a combinação de todos eles, constituem o ambiente (BORÉM, 1997; ROMAGOSA; FOX, 1993). A interação GA ocorre porque o comportamento dos genótipos não é coincidente nos diferentes ambientes (CRUZ; CARNEIRO, 2003; KANG, 1998; RAMALHO et al., 2012).

A resposta fenotípica é resultante da ação conjunta do genótipo, do ambiente, e da interação entre genótipos e ambientes (ALLARD, 1974). Esse último componente reflete as diferentes sensibilidades dos genótipos às variações ambientais (FALCONER; MACKAY, 1996), resultando em mudanças no desempenho relativo dos genótipos (FEHR, 1987).

A interação é devida a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada cultivar. Em termos genéticos, a interação ocorre quando a contribuição dos genes que controlam o caráter ou o nível de expressão dos mesmos difere

entre os ambientes, isso só ocorre porque a expressão dos genes é influenciada e/ou regulada pelo ambiente (KANG, 1998).

Em um programa de melhoramento, é frequente a realização de testes de genótipos em diferentes locais e anos, sendo que o comportamento destes, não é constante nos diferentes ambientes. Essa inconsistência no comportamento dos cultivares frente as variações ambientais, gera a interação genótipos x ambientes, que quando significativa, pode indicar a existência de genótipos específicos para determinados ambientes (EBERHART; RUSSELL, 1966), sendo estes, classificados em previsíveis e imprevisíveis, segundo Allard e Bradshaw (1964). Fehr (1987) postula que as variáveis imprevisíveis são as que mais contribuem para as interações genótipos x anos, e genótipos x locais x anos.

Existem pelo menos três opções possíveis para atenuar ou minimizar os efeitos da interação genótipos x ambientes: a identificação de cultivares específicos para cada ambiente; a realização de zoneamento ecológico; e a identificação de cultivares com maior estabilidade fenotípica, o que mais tem sido realizado nos últimos anos (RAMALHO et al., 2012).

A interação dos genótipos x ambientes não deve ser vista como um problema, cujos efeitos devem ser minimizados em um programa de melhoramento, mas sim, como um fenômeno biológico natural, o qual cumpre conhecê-la bem, para melhor aproveitá-la no processo de seleção (CHAVES, 2001).

A interação só pode ser detetada ou estimada quando se avaliam duas ou mais linhagens, em pelo menos dois ambientes. Quando a interação ocorre, mas não altera a classificação dos genótipos nos ambientes envolvidos, é denominada de simples. Nesse caso, não há maiores reflexos no trabalho dos melhoristas. Contudo, o mais comum é a interação complexa, ou seja, que altera a

classificação dos genótipos nos diferentes ambientes. Esse é o grande complicador do trabalho dos melhoristas (RAMALHO et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisados os dados referentes a produtividade de grãos de soja, obtidos nos ensaios de avaliação de linhagens, do programa de melhoramento da empresa Monsanto do Brasil Ltda, da Estação Experimental de Sorriso- MT.

3.1 Genótipos avaliados

Os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos a partir das progênies $F_{4:6}$, avaliadas na safra de 2010/2011, em 3 ambientes. Na geração $F_{4:7}$, as progênies foram submetidas a uma bateria de avaliações visuais, envolvendo a arquitetura das plantas, sanidade, produtividade e qualidade de sementes, sendo conduzidas em parcelas de 4 linhas, com 5 m de comprimento e 3 repetições por ambiente, sendo alocadas em 12 ambientes na safra 2011/2012. Na geração $F_{4:8}$ conduzidas também em parcelas iguais ao ano anterior, com 11 ambientes, sendo a safra 2012/2013. Os dados de repetições e delineamento experimental, bem como número de locais por geração, estão contidos na Tabela 1, distribuídos em toda a região produtora do estado do Mato Grosso, totalizando 26 ambientes nas três safras. Na Figura 2 e Tabela 2 constam as localizações dos locais de testes, coordenadas geográficas, e algumas características ambientais de cada local.

Foram selecionadas nove progênies comuns a todas as avaliações para serem utilizadas nessa pesquisa. Os detalhes dos experimentos em que essas nove progênies estiveram presentes, estão apresentadas na Tabela 3. É oportuno salientar, que em cada geração, outras progênies foram avaliadas. Porém, apenas nove que repetiram em todas as safras foram incluídas, como já mencionado. Especialmente em $F_{4:6}$ e $F_{4:7}$, as progênies nem sempre estiveram num mesmo experimento. Como nos diferentes experimentos sempre foram incluídas

testemunhas comuns, foram utilizadas para se proceder as análises de variância combinada.

Tabela 1 Detalhes dos experimentos de avaliação de progênes de soja conduzidos nas gerações $F_{4:6}$ na safra 2010/2011, $F_{4:7}$ na safra 2011/2012 e $F_{4:8}$ na safra 2012/2013

| Gerações | Nº de locais | Delineamento | Nº de repetições |
|----------|--------------|--------------|------------------|
| F 4:6 | 3 | DBC | 2 |
| F 4:7 | 12 | DBC | 3 |
| F 4:8 | 11 | DBC | 3 |

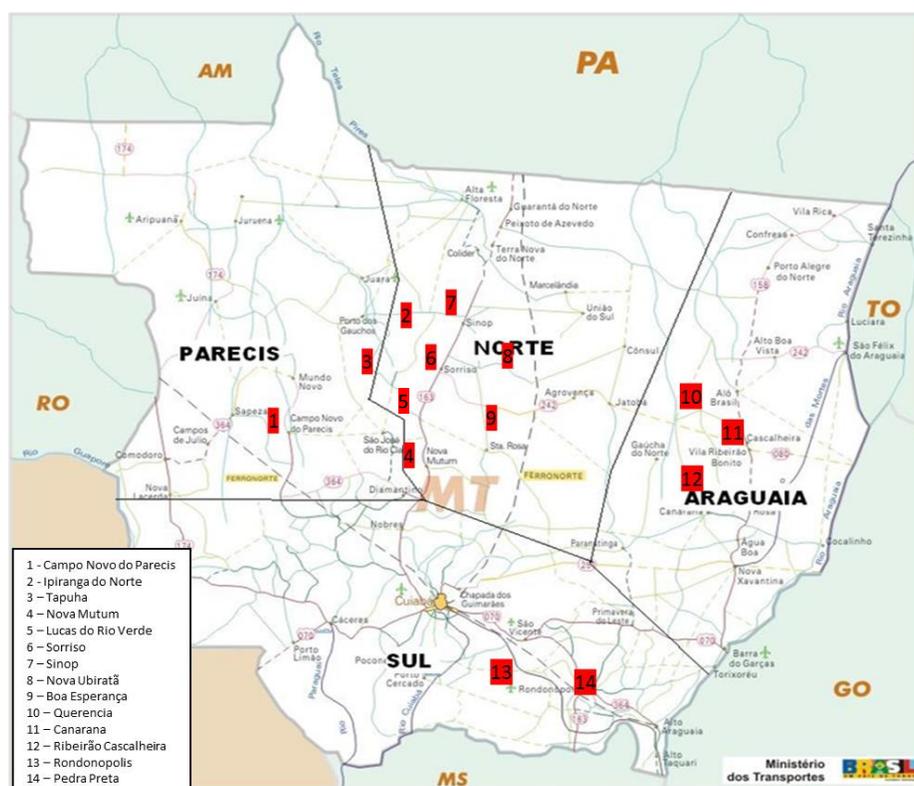


Figura 2 Locais de avaliação das progênes de soja no estado do Mato Grosso, nos anos de 2011, 2012 e 2013

Tabela 2 Coordenadas geográficas, altitude, precipitação média anual do local e temperatura média. Dados obtidos dos 26 ambientes em que foram avaliadas as linhagens/progênes de soja no Mato Grosso

| Ambientes | Local | Ano | Coordenadas Geograficas | Altitude | Prec. Méd. Anual | Temp. média |
|-----------|----------------|-----------|---------------------------|----------|------------------|-------------|
| 1 | N Mutum | 2010/2011 | 13,824431 S - 56,094223 W | 550 | 1934 | 24,6 |
| 2 | Rondonop. | 2010/2011 | 16,458259 S - 54,637563 W | 212 | 1527 | 24,8 |
| 3 | Sorriso | 2010/2011 | 12,54095 S - 55,721606 W | 386 | 1883 | 25,0 |
| 4 | Boa Esper. | 2011/2012 | 13,575385 S - 55,285200 W | 415 | 1790 | 24,1 |
| 5 | Canarana | 2011/2012 | 13,578480 S - 52,267739 W | 366 | 1541 | 24,8 |
| 6 | C. N. Parecis | 2011/2012 | 13,608117 S - 57,947012 W | 564 | 1954 | 23,7 |
| 7 | Ipiranga | 2011/2012 | 12,283148 S - 56,123281 W | 313 | 2011 | 25,1 |
| 8 | L. R. Verde | 2011/2012 | 13,080936 S - 55,956835 W | 399 | 1869 | 25,0 |
| 9 | N. Ubiratã | 2011/2012 | 13,054898 S - 55,241629 W | 396 | 1838 | 24,6 |
| 10 | Querencia | 2011/2012 | 12,607004 S - 52,205282 W | 336 | 1696 | 25,4 |
| 11 | R. Cascalheira | 2011/2012 | 12,932460 S - 51,786428 W | 386 | 1598 | 25,4 |
| 12 | Rondonop. | 2011/2012 | 16,458259 S - 54,637563 W | 212 | 1545 | 24,8 |
| 13 | Sinop | 2011/2012 | 11,837279 S - 55,529776 W | 384 | 1818 | 25,0 |
| 14 | Sorriso | 2011/2012 | 12,54095 S - 55,721606 W | 386 | 1984 | 25,0 |
| 15 | Tapurah | 2011/2012 | 12,765766 S - 56,529776 W | 388 | 2019 | 25,2 |
| 16 | Canarana | 2012/2013 | 13,578480 S - 52,267739 W | 366 | 1541 | 24,8 |
| 17 | C. N. Parecis | 2012/2013 | 13,608117 S - 57,947012 W | 564 | 1954 | 23,7 |
| 18 | Ipiranga | 2012/2013 | 12,283148 S - 56,123281 W | 313 | 2011 | 25,1 |
| 19 | L. R. Verde | 2012/2013 | 13,080936 S - 55,956835 W | 399 | 1869 | 25,0 |
| 20 | N Mutum | 2012/2013 | 13,824431 S - 56,094223 W | 550 | 1836 | 24,6 |
| 21 | N. Ubiratã | 2012/2013 | 13,054898 S - 55,241629 W | 396 | 1838 | 24,6 |
| 22 | P. Preta | 2012/2013 | 16,621225 S - 54,321524 W | 236 | 1533 | 24,7 |
| 23 | Querencia | 2012/2013 | 12,607004 S - 52,205282 W | 336 | 1696 | 25,4 |
| 24 | R. Cascalheira | 2012/2013 | 12,932460 S - 51,786428 W | 386 | 1598 | 25,4 |
| 25 | Sorriso | 2012/2013 | 12,54095 S - 55,721606 W | 386 | 1817 | 25,0 |
| 26 | Tapurah | 2012/2013 | 12,765766 S - 56,529776 W | 388 | 2051 | 25,2 |

*A Altitude refere-se a elevação em relação ao nível do mar.

** A precipitação refere-se a média anual do município.

3.2 Análises realizadas

Inicialmente, foram efetuadas as análises de variância combinada, por local e ano, utilizando-se as testemunhas comuns como referência.

A partir dessas análises foram obtidas as médias ajustadas, das nove linhagens comuns a todos os ambientes. Com as médias ajustadas procedeu-se a análise conjunta, envolvendo todos os ambientes, empregando o seguinte modelo:

$$Y_{ik} = \mu + t_i + a_k + (ta)_{ik} + e_{ik}$$

Em que:

Y_{ik} é o valor observado relativo a linhagem i no ambiente (locais ou ano) k .

μ é a média geral (constante);

t_i é o efeito fixo da linhagem i , ($i = 1, 2, \dots, 9$);

a_k é o efeito fixo do ambiente k ($k = 1, 2, 3, \dots, 26$);

$(ta)_{ik}$ é o efeito da interação das linhagens x ambientes;

e_{ik} é o erro experimental ($e_{ik} \sim n(0 \text{ e } \sigma^2)$).

Posteriormente foi realizada uma nova análise de variância conjunta, envolvendo todos os locais comuns aos anos de 2012 e 2013. O modelo estatístico nesse caso foi:

$$Y_{ijl} = \mu + t_i + b_j + d_l + (tb)_{ij} + (td)_{il} + (bd)_{jl} + (tbd)_{ijl} + e_{ijl}$$

Em que:

Y_{ijl} é o valor observado relativo a linhagem i , no local l , no ano j ;

μ é a média geral (constante);

t_i é o efeito fixo da linhagem i , ($i = 1, 2, \dots, 9$);

b_j é o efeito fixo do ano j ; ($j = 1, 2$);

d_l é o efeito do local l ($l = 1, 2, 3, \dots, 9$);

tb_{ij} é o efeito da interação de linhagens x anos;
 td_{il} é o efeito da interação de linhagens x locais;
 bd_{jl} é o efeito da interação anos x locais;
 tbd_{ijl} é o efeito da interação de linhagens x anos x locais;
 e_{ijl} é o erro experimental ($e_{ijl} \sim n(0 \text{ e } \sigma^2)$);

Todas as análises foram realizadas pelo software R. Utilizando-se as médias ajustadas, foi estimada a ecovalência Wricke e Webber (1986), e obtida a contribuição de cada linhagem para a interação. Também foi empregado o procedimento de Nunes, Ramalho e Abreu (2005), para análise gráfica das respostas de cada cultivar aos diferentes ambientes. Para isso, as médias foram padronizadas.

Com as médias ajustadas, foram estimadas as correlações (r) do desempenho das progênies em todos os pares de ambientes.

4 RESULTADO

A produtividade média de grãos de soja (kg/ha) obtida na avaliação das nove linhagens regulares, nos 26 ambientes, mostra que estas variam de 2346 kg/ha em Campo Novo do Parecis (ambiente 17), na safra 2012/2013, à 4944 kg/ha em Rondonópolis (ambiente 2) na safra 2010/2011. Esse resultado mostra ampla variação ambiental que ocorre na região produtora de soja no Estado (Tabela 3).

As nove linhagens comuns a todos os ambientes, nem sempre estiveram juntas em um mesmo experimento em cada ambiente. Para se obter as médias ajustadas, foi necessário realizar análises combinadas utilizando-se as testemunhas comuns aos diferentes experimentos. Por isso, o grau de liberdade associado ao quadrado médio do erro (QME), foi muito variável entre os experimentos, mesmo nos casos em que o número de repetições foi o mesmo. Constatou-se que as estimativas do QME variaram entre os ambientes, contudo, a proporção entre a maior estimativa e a menor foi de 4,94%. Nessa condição, pode-se inferir que ocorreu homogeneidade entre as variâncias (Tabela 3).

Observou-se que foi detetada diferença significativa ($P < 0,05$) entre as linhagens em 76,9 % dos ambientes. Chamam a atenção, as estimativas da acurácia ($r_{gg'}$). Observou-se que em 92,3% dos ambientes a $r_{gg'}$ foi superior a 64%, indicando que a maioria dos experimentos apresentou precisão de média a alta (Tabela 3).

Tabela 3 Média (kg/ha), grau de liberdade (GLE) e quadrado médio do erro, acurácia ($r_{gg'}$) e estimativa do F e o P valor do efeito de linhagem. Dados obtidos dos 26 ambientes em que foram avaliadas as linhagens de soja no Mato Grosso

| Ambientes | Media do ambiente | GLE | F Val | P val | $r_{gg'}$ |
|-----------|-------------------|----------|-------|--------|-----------|
| 1 | 4538 | 11 | 1,17 | 0,3982 | 0,38 |
| 2 | 4944 | 8 | 1,9 | 0,1879 | 0,69 |
| 3 | 4149 | 18 | 1,08 | 0,4269 | 0,27 |
| 4 | 3760 | 51 | 15,39 | <.0001 | 0,97 |
| 5 | 2873 | 50 | 2,56 | 0,01 | 0,78 |
| 6 | 4484 | 51 | 2,36 | 0,0168 | 0,76 |
| 7 | 4191 | 51 | 3,84 | 0,0004 | 0,86 |
| 8 | 3329 | 51 | 11,28 | <.0001 | 0,95 |
| 9 | 4129 | 51 | 5 | <.0001 | 0,89 |
| 10 | 3628 | 50 | 5,46 | <.0001 | 0,90 |
| 11 | 3217 | 51 | 8,19 | <.0001 | 0,94 |
| 12 | 4188 | 51 | 2,61 | 0,0086 | 0,79 |
| 13 | 4451 | 51 | 3,92 | 0,0003 | 0,86 |
| 14 | 4426 | 51 | 4,03 | 0,0002 | 0,87 |
| 15 | 3895 | 51 | 1,74 | 0,0847 | 0,65 |
| 16 | 4659 | 21 | 4,25 | 0,0025 | 0,87 |
| 17 | 2346 | 23 | 11,89 | <.0001 | 0,96 |
| 18 | 3281 | 23 | 2,43 | 0,038 | 0,77 |
| 19 | 3949 | 23 | 3,98 | 0,003 | 0,87 |
| 20 | 4045 | 21 | 1,69 | 0,1503 | 0,64 |
| 21 | 3361 | 23 | 4,36 | 0,0017 | 0,88 |
| 22 | 4513 | 23 | 5,3 | 0,0005 | 0,90 |
| 23 | 4293 | 23 | 1,86 | 0,1049 | 0,68 |
| 24 | 3834 | 23 | 4,32 | 0,0018 | 0,88 |
| 25 | 3680 | 23 | 5,65 | 0,0003 | 0,91 |
| 26 | 2748 | 23 | 14,86 | <.0001 | 0,97 |
| ERRO | | GL = 896 | | | |
| QM | | 129586,8 | | | |

Na análise de variância conjunta (Tabela 4), verificou-se que todas as fontes de variação apresentaram teste F significativo ($P < 0,001$). Constatou-se que a interação linhagens x ambientes, foi responsável por 26,2% da soma de

quadrados total (SQT), excluindo a fonte de variação devido ao erro (R^2). Ou seja, a interação linhagens x ambiente foi expressiva. Como já realçado, a diferença entre os ambiente foi enorme, explicando 72,2% SQT. Menor proporção da variação foi observada entre as linhagens.

Tabela 4 Resumo da análise de variância conjunta de produtividade de grãos de soja (Kg/ha). Dados obtidos na avaliação de linhagens de soja em 26 ambientes do estado do Mato Grosso

| FV | GL | QM | P Val | R² (%)* |
|---------------|-----------|-------------|--------------|---------------------------|
| Ambientes (A) | 25 | 11189916,78 | < 0,001 | 72,2 |
| Linhagens (L) | 8 | 809839,55 | 0,001 | 1,6 |
| L x A | 200 | 507648,53 | 0,001 | 26,2 |
| Erro Médio | 896 | 129586,82 | | |

* R^2 : Soma de Quadrado (SQ) da FV_i/SQ_{TOTAL}

A existência de variação entre as linhagens pode ser constatada na Tabela 5. O teste de Scott e Knott (1974), possibilitou agrupar as nove linhagens em três grupos. Confirmando a existência de variação significativa entre as linhagens. As linhagens com melhor desempenho, na média dos 26 ambientes, foram as G, B e H, e as com pior desempenho foram as E, F, D e I.

Tabela 5 Média das linhagens de soja em kg/ha. Dados médios de 26 ambientes do estado do Mato Grosso durante os anos de 2011/2012/2013

| Linhagem | Produtividade | Classificação |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| G | 4035,8 | a |
| B | 3975,3 | a |
| H | 3965,6 | a |
| A | 3893,2 | b |
| C | 3887,6 | b |
| E | 3843,0 | c |
| F | 3839,2 | c |
| D | 3774,1 | c |
| I | 3716,2 | c |

*Médias seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott e Knott (1974) ao nível de 5% de probabilidade.

Em um primeiro momento, a comparação da existência de interação entre linhagem x ambiente pode ser observada na Figura 3. Percebe-se que nenhuma linhagem apresentou performance superior em todos os ambientes.

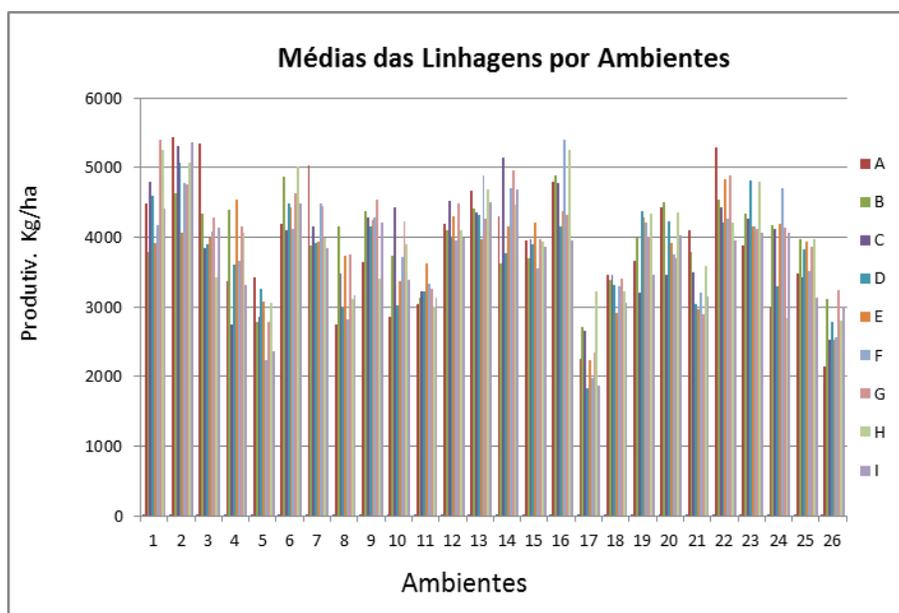


Figura 3 Produtividade média das nove linhagens de soja (kg/ha) em cada um dos 26 ambientes do estado do Mato Grosso

Para verificar o efeito de anos e locais, foi efetuada a análise de variância envolvendo a avaliação das nove linhagens, em todos os locais em que foram avaliadas, em dois anos consecutivos (Tabela 6). Nota-se que a contribuição da interação locais x linhagens foi bem superior a de anos x linhagens. Essa diferença deve ser, sobretudo, devido ao número de locais envolvidos, nove, ou seja, bem superior ao de anos, apenas dois. Adicionalmente, a interação locais x anos contribuiu com mais de 52% da variação total, indicando que o comportamento dos locais, nos dois anos, não foram coincidentes.

Tabela 6 Resumo da análise da variância conjunta de produtividade de grãos (kg/ha) de soja. Dados obtidos na avaliação de nove linhagens de soja, durante dois anos, no estado do Mato Grosso

| FV | GL | Teste de F | P Val | R²* |
|-------------------|-----------|-------------------|--------------|-----------------------|
| Ano (A) | 1 | 21,89 | <.0001 | 0,038 |
| Local (E) | 8 | 13,38 | <.0001 | 0,186 |
| Linhagens (L) | 8 | 1,21 | 0,3064 | 0,017 |
| Ano*Linh. (L x A) | 8 | 1,27 | 0,2751 | 0,018 |
| Loc*Linh. (L x E) | 64 | 0,98 | 0,5305 | 0,109 |
| Ano*loc (E x A) | 8 | 37,57 | <.0001 | 0,522 |
| L x A x E | 64 | 23,70 | <.0001 | 0,111 |
| Erro Médio | 662 | | 125994,32 | |

*R²: Soma de Quadrado (SQ) da FV_i/SQ_{TOTAL}

Para estudar a interação, foi estimada a correlação do desempenho das linhagens nos ambientes dois a dois (r) (Tabela 7). Verificou-se que 49,0% das estimativas foram negativas. Nesse caso, não houve praticamente nenhuma concordância na classificação, naquele par de ambientes. Observou-se que as estimativas variam amplamente mesmo entre locais dentro do mesmo ano. Inclusive, a maioria foi de magnitude muito baixa, indicando a importância da interação entre locais, já realçado anteriormente. Como exemplo, veem-se os ambientes 13 - Sinop/2011 – e 14 - Sorriso/2011 ($r = 0,17$). As duas melhores linhagens no ambiente 13 foram a F e H, já no local 14, a C e G (Tabela 8), ou seja, houve alteração completa na classificação. Quando se considera o mesmo local, em anos diferentes, a situação foi semelhante. Como por exemplo, o local Sorriso, ambientes 14 - ano 2011 - e 25 - ano 2012. A estimativa de r foi também de pequena magnitude, $r = 0,27$. Em 2011, como já mencionado, as linhagens com melhor desempenho foram a C e G. Já em 2012, a B e H. Portanto, a coincidência na classificação também não ocorreu.

A repetibilidade (R^2) que é um parâmetro útil para o melhorista, corresponde à estimativa da correlação ao quadrado. Contudo, quando o r é

negativo, como ocorreu em grande número dos casos, a estimativa do R^2 não possibilita verificar se a correlação foi positiva ou negativa. Ou seja, quando é negativa, a repetibilidade evidentemente é nula. Por essa razão, optou-se por utilizar a estimativa de r ao invés de R^2 .

Tabela 7 Estimativas das correlações (r) do desempenho das linhagens nos ambientes dois a dois. Dados obtidos na avaliação de linhagens de soja em 26 ambientes, no Estado do Mato Grosso

| Ambientes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|-----------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1,00 | 0,41 | -0,25 | -0,22 | 0,16 | 0,23 | 0,20 | -0,19 | -0,25 | 0,44 | -0,40 | 0,41 | 0,09 | 0,57 | 0,26 | -0,03 | 0,34 | 0,34 | -0,05 | -0,25 | -0,14 | -0,03 | 0,27 | -0,42 | 0,06 | 0,23 |
| 2 | | 1,00 | 0,24 | -0,84 | 0,07 | -0,23 | 0,31 | -0,58 | -0,40 | -0,10 | -0,77 | -0,10 | 0,52 | 0,32 | -0,17 | -0,04 | -0,04 | 0,49 | -0,60 | 0,09 | 0,44 | -0,18 | -0,02 | -0,46 | -0,65 | -0,22 |
| 3 | | | 1,00 | -0,12 | 0,26 | -0,36 | 0,74 | -0,15 | -0,02 | -0,49 | -0,18 | 0,03 | 0,15 | -0,14 | -0,04 | -0,09 | -0,31 | 0,36 | -0,31 | 0,30 | 0,49 | 0,72 | -0,71 | -0,09 | -0,27 | -0,37 |
| 4 | | | | 1,00 | 0,09 | 0,64 | -0,26 | 0,54 | 0,10 | -0,05 | 0,36 | -0,08 | -0,35 | -0,50 | 0,11 | 0,04 | 0,22 | -0,39 | 0,74 | 0,35 | -0,22 | 0,22 | 0,16 | 0,09 | 0,80 | 0,40 |
| 5 | | | | | 1,00 | 0,12 | 0,22 | -0,09 | -0,51 | -0,42 | -0,13 | 0,26 | -0,32 | -0,42 | 0,62 | -0,11 | 0,23 | 0,16 | 0,19 | 0,45 | 0,35 | 0,56 | 0,26 | -0,77 | 0,43 | -0,42 |
| 6 | | | | | | 1,00 | -0,50 | 0,44 | -0,24 | 0,13 | -0,33 | -0,15 | -0,12 | -0,39 | 0,04 | -0,01 | 0,57 | -0,14 | 0,45 | 0,55 | 0,02 | -0,21 | 0,55 | -0,35 | 0,64 | 0,66 |
| 7 | | | | | | | 1,00 | -0,46 | -0,23 | -0,16 | -0,20 | 0,20 | 0,42 | 0,30 | -0,06 | 0,32 | -0,10 | 0,54 | -0,18 | -0,03 | 0,41 | 0,70 | -0,56 | -0,16 | -0,22 | -0,55 |
| 8 | | | | | | | | 1,00 | 0,57 | 0,47 | 0,30 | 0,47 | -0,66 | -0,16 | 0,20 | -0,20 | 0,35 | -0,07 | -0,02 | -0,08 | -0,15 | 0,14 | -0,03 | 0,41 | 0,48 | 0,59 |
| 9 | | | | | | | | | 1,00 | 0,35 | 0,55 | 0,28 | -0,45 | 0,13 | -0,14 | -0,39 | -0,43 | 0,00 | -0,15 | -0,56 | -0,57 | -0,05 | -0,30 | 0,85 | -0,06 | 0,48 |
| 10 | | | | | | | | | | 1,00 | 0,02 | 0,59 | -0,06 | 0,63 | -0,05 | 0,29 | 0,54 | 0,27 | -0,25 | -0,62 | -0,17 | -0,17 | 0,07 | 0,41 | 0,10 | 0,43 |
| 11 | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,23 | -0,60 | 0,01 | 0,34 | -0,23 | -0,38 | -0,57 | 0,27 | -0,52 | -0,66 | 0,14 | -0,21 | 0,61 | 0,17 | -0,09 |
| 12 | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,55 | 0,50 | 0,61 | -0,13 | 0,34 | 0,27 | -0,39 | -0,54 | -0,07 | 0,52 | -0,25 | 0,11 | 0,14 | 0,00 |
| 13 | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,17 | -0,73 | 0,66 | 0,07 | 0,37 | -0,04 | 0,21 | 0,47 | -0,24 | -0,02 | -0,15 | -0,37 | -0,24 |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,09 | 0,09 | 0,06 | 0,14 | -0,53 | -0,79 | -0,21 | -0,05 | -0,37 | 0,28 | -0,51 | -0,04 |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,47 | 0,14 | -0,36 | -0,06 | -0,14 | -0,19 | 0,42 | -0,04 | -0,33 | 0,20 | -0,20 |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,54 | 0,34 | 0,19 | 0,08 | 0,50 | 0,04 | 0,11 | -0,02 | 0,19 | -0,32 |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,24 | 0,02 | 0,19 | 0,47 | 0,08 | 0,34 | -0,34 | 0,47 | 0,11 |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,29 | 0,03 | 0,50 | 0,28 | -0,01 | -0,16 | -0,01 | -0,03 |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,34 | -0,32 | -0,05 | 0,54 | -0,16 | 0,75 | 0,16 |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,56 | 0,10 | 0,27 | -0,63 | 0,33 | -0,01 |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,34 | -0,13 | -0,46 | -0,08 | -0,44 |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,54 | -0,14 | 0,24 | -0,40 |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,44 | 0,53 | 0,27 |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | -0,21 | 0,27 |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00 | 0,29 |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

*Amarelo corresponde à correlação dos ambientes no ano agrícola 2010/2011, Verde no ano 2011/2012 e Azul no ano 2012/2013.

Tabela 8 Produtividade média das linhagens nos 26 ambientes em destaque, ambiente 9 e 24, com as 4 melhores linhagens por ambiente. Dados obtidos no Estado do Mato Grosso durante os anos de 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013

| Ambientes | Linhagem | | | | | | | | |
|-----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 1 | 4479 | 3796 | 4804 | 4602 | 3912 | 4172 | 5403 | 5256 | 4418 |
| 2 | 5443 | 4630 | 5312 | 5075 | 4074 | 4776 | 4761 | 5062 | 5363 |
| 3 | 5337 | 4337 | 3846 | 3909 | 3984 | 4083 | 4285 | 3426 | 4135 |
| 4 | 3366 | 4394 | 2741 | 3606 | 4547 | 3662 | 4161 | 4057 | 3309 |
| 5 | 3429 | 2777 | 2854 | 3262 | 3085 | 2240 | 2783 | 3063 | 2364 |
| 6 | 4200 | 4862 | 4105 | 4489 | 4431 | 4111 | 4640 | 5021 | 4493 |
| 7 | 5036 | 3883 | 4162 | 3924 | 3937 | 4478 | 4456 | 4001 | 3842 |
| 8 | 2752 | 4149 | 3474 | 2994 | 3729 | 2822 | 3759 | 3107 | 3177 |
| 9 | 3651 | 4368 | 4290 | 4148 | 4245 | 4284 | 4542 | 3413 | 4217 |
| 10 | 2852 | 3734 | 4429 | 3015 | 3370 | 3723 | 4239 | 3905 | 3389 |
| 11 | 3039 | 3125 | 3219 | 3221 | 3623 | 3325 | 3256 | 3000 | 3141 |
| 12 | 4195 | 4108 | 4529 | 4015 | 4303 | 3954 | 4488 | 4107 | 3989 |
| 13 | 4663 | 4414 | 4353 | 4318 | 3978 | 4892 | 4257 | 4679 | 4501 |
| 14 | 4303 | 3635 | 5137 | 3768 | 4157 | 4706 | 4970 | 4472 | 4684 |
| 15 | 3960 | 3693 | 3982 | 3897 | 4204 | 3551 | 3982 | 3933 | 3856 |
| 16 | 4797 | 4884 | 4784 | 4148 | 4382 | 5405 | 4314 | 5255 | 3958 |
| 17 | 2253 | 2716 | 2652 | 1834 | 2237 | 1974 | 2353 | 3219 | 1873 |
| 18 | 3455 | 3395 | 3457 | 3311 | 2905 | 3299 | 3411 | 3232 | 3061 |
| 19 | 3670 | 3999 | 3201 | 4379 | 4278 | 4205 | 4012 | 4336 | 3465 |
| 20 | 4439 | 4512 | 3464 | 4234 | 3914 | 3750 | 3708 | 4350 | 4030 |
| 21 | 4107 | 3797 | 3506 | 3034 | 2972 | 3202 | 2896 | 3590 | 3149 |
| 22 | 5289 | 4539 | 4434 | 4213 | 4834 | 4268 | 4884 | 4203 | 3949 |
| 23 | 3885 | 4347 | 4270 | 4818 | 4163 | 4159 | 4122 | 4804 | 4071 |
| 24 | 3001 | 4168 | 4190 | 3289 | 4117 | 4699 | 4136 | 2837 | 4067 |
| 25 | 3488 | 3976 | 3422 | 3834 | 3929 | 3510 | 3869 | 3966 | 3126 |
| 26 | 2138 | 3119 | 2535 | 2788 | 2535 | 2569 | 3244 | 2812 | 2996 |

*Obs: Cor azul melhor produtividade seguida por amarela, verde e laranja em ambos os ambientes.

A estimativa de ecovalência mostrou que as linhagens A e H foram as que mais contribuíram para a interação. O inverso ocorreu com as linhagens I e D (Figura 4). Deve-se enfatizar que essas duas últimas linhagens foram incluídas no grupo das de menor produtividade (Tabela 5). Ou seja, a menor contribuição para a interação esta associada a baixa produtividade de grãos, o que evidentemente não é desejável. Contudo, o mesmo não pode ser dito da

linhagem G, que está no grupo das mais produtivas, e sua contribuição para a interação foi muito pequena.

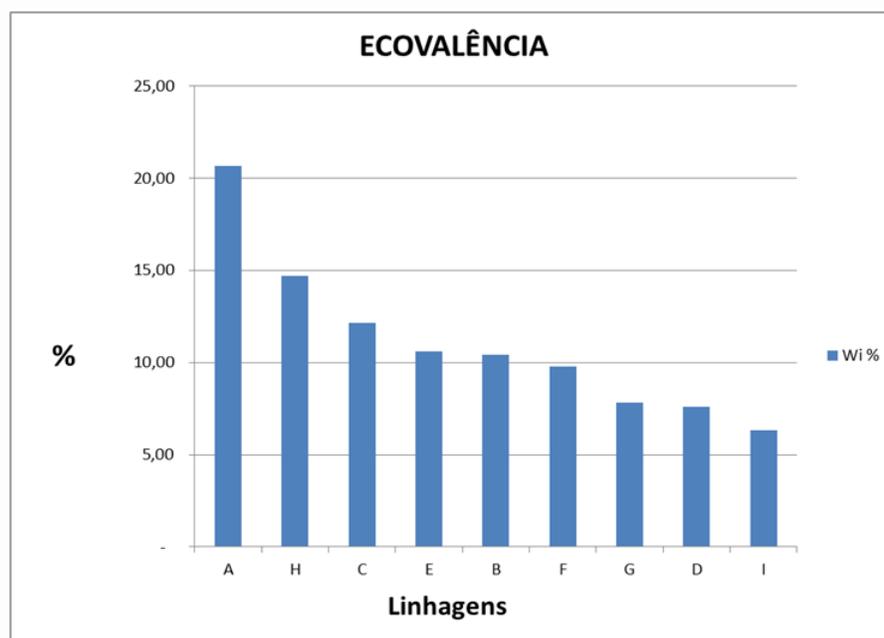


Figura 4 Contribuição das linhagens de soja avaliadas para interação. Dados obtidos em 26 ambientes no Estado do Mato Grosso

Com relação a ecovalência dos ambientes (Figura 5) verifica-se que as estimativas variaram amplamente. O ambiente que mais contribuiu para a interação foi o 24 - Ribeirão Cascalheira, safra 2012/2013. Os que menos contribuíram foram os de número 12 – Rondonópolis, safra 2011/2012, 15 – Tapurah, 2011/2012, e 18 - Ipiranga do Norte, 2012/2013.

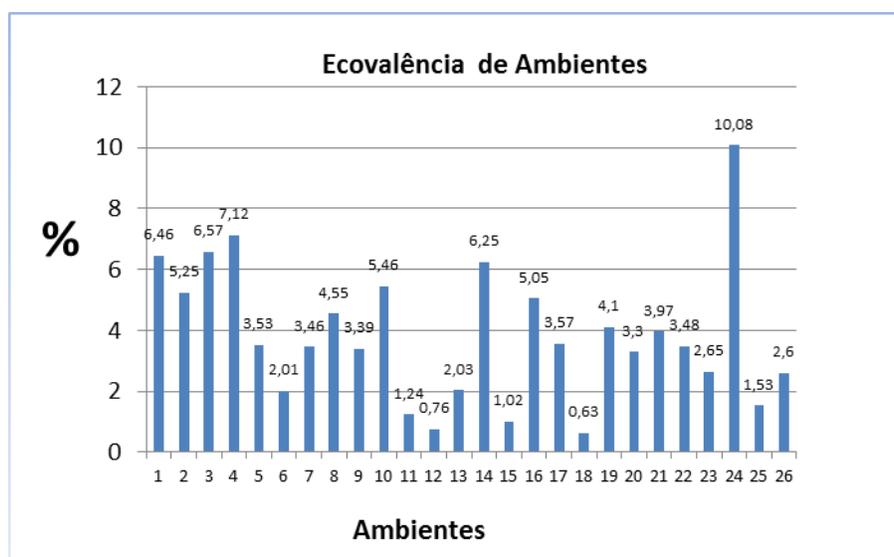
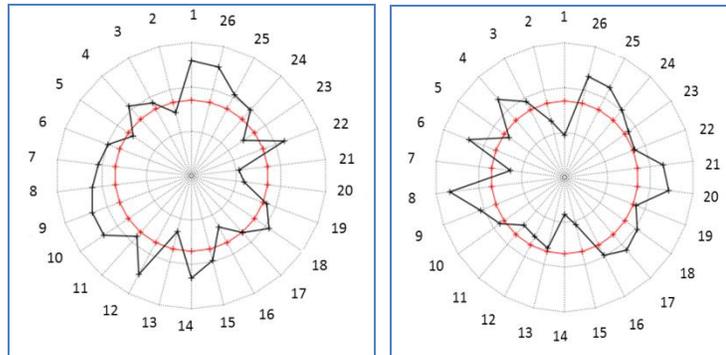


Figura 5 Contribuição dos ambientes de avaliação das linhagens de soja para a interação. Dados obtidos no Estado do Mato Grosso

A resposta de algumas linhagens ao ambiente fica mais bem visualizada por meio dos gráficos apresentados na Figura 6. Como foi constatado na Tabela 5, as linhagens G e B pertencem ao grupo das que apresentam melhor desempenho médio. Como era esperado, na maioria dos ambientes, o seu desempenho foi superior a média, indicando que estas foram mais adaptadas. Por outro lado, nas linhagens I e D, que constituem o grupo de pior performance, a visualização desse comportamento fica também evidenciado na Tabela 3, ou seja, na maioria dos ambientes a média das linhagens foi abaixo da média do ambiente. Isto é, são linhagens que apresentam maior risco na recomendação aos agricultores.

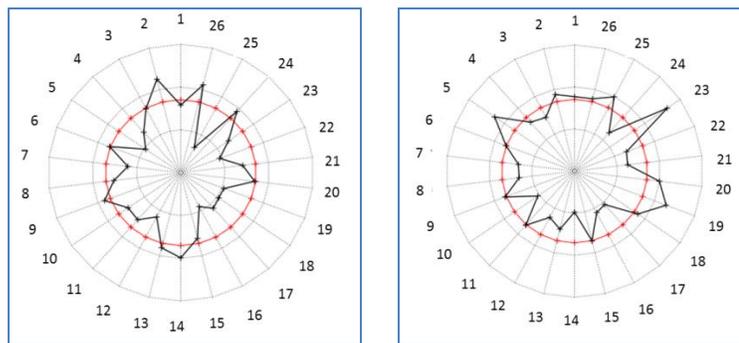
A -



Linhagem G

Linhagem B

B -



Linhagem I

Linhagem D

Figura 6 Representação gráfica do desempenho das duas melhores linhagens G e B e das duas com o pior desempenho I e D nos 26 ambientes do MT, segundo Nunes, Ramalho e Abreu (2005). A - linhagens com maior adaptação e estabilidade, B - linhagens menos adaptadas e estáveis

5 DISCUSSÃO

Os 26 ambientes em que as linhagens de soja foram avaliadas, envolveram três anos agrícolas e 14 locais. Os locais são representativos dos nove milhões de ha que são cultivados com soja no estado (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015). O que de acordo com o os autores Alliprandini et al. (1994, p. 1436),

a estratégia para escolha dos locais de realização de teste de avaliação das linhagens deve ocorrer de forma que as áreas escolhidas possam representar a grande diversidade ambiental para o cultivo da soja no estado, que ocorre inclusive de época de semeadura, tipo de solo e climático.

Nos experimentos, a acurácia média foi de 0,80, indicando uma alta precisão experimental, segundo o critério de Resende e Duarte (2007). A $r_{gg'}$ varia entre 0 e 1 podendo ser classificada como muito alta (valor acima de 0,90), alta (valor entre 0,70 e 0,90), moderada (valor entre 0,50 e 0,70), e baixa (valor abaixo de 0,50). A $r_{gg'}$ é estimada em função da estatística F de Snedecor, que é obtida pela razão entre o quadrado médio de tratamentos e o quadrado médio do erro obtido na análise de variância. Assim, se o quadrado médio do erro é de pequena magnitude relativa ao de tratamentos, a $r_{gg'}$ será elevada, indicando que a precisão do experimento foi grande. Entretanto, se os tratamentos avaliados não diferem, o quadrado médio de tratamentos será de pequena magnitude, o mesmo ocorrendo com o teste F. Depreende-se que nessa última situação, mesmo sendo o quadrado médio do erro, de pequena magnitude, a estimativa da $r_{gg'}$ obtida irá contribuir para inferir que a precisão é baixa. Assim, a $r_{gg'}$ deve ser utilizada com essa ressalva. Enfatiza-se que em grande número dos ambientes, as linhagens foram avaliadas em experimentos diferentes, e foi

realizada análise combinada utilizando-se testemunhas comuns, e mesmo nessa situação, a precisão foi boa.

O estado tem suas áreas produtoras da cultura na região dos cerrados, tendo suas estações do ano muito distintas, com épocas com longos períodos de estiagens, e períodos com certa estabilidade de precipitação pluviométrica, oferecendo condições de cultivo. Nos três anos agrícolas ocorreram situações muito distintas. Na safra 2010/2011, as precipitações ocorridas foram bem distribuídas ao longo do período, sem ocorrências que pudessem comprometer a safra. Já na safra 2011/2012, a distribuição foi mais irregular, com atraso no início das chuvas e, conseqüente atraso na semeadura. Da mesma forma ocorreu na safra de 2012/2013, ou seja, atraso da semeadura devido às condições climáticas não favoráveis. Adicionalmente, houve um veranico no final do mês de novembro, intensificando-se no período próximo da colheita (IMEA, 2015).

Na concepção de Allard e Bradsshaw (1964), o efeito de anos é imprevisível, as condições climáticas e ocorrências de fatores bióticos entre anos são imprevisíveis. Essas diferenças climáticas entre anos, também repercutem no desempenho das linhagens. Os experimentos realizados são, na realidade, uma forma de prever o provável desempenho do que irá ocorrer nos campos dos agricultores (GAUCH; ZOBEL, 1988). Assim, quando extrapolados esses resultados para o que irá acontecer nas propriedades dos agricultores, em anos futuros, todos esses fatores devem ser levados em consideração.

Nos programas de melhoramento de soja conduzidos no Brasil, e em outros países, anualmente, são obtidas algumas centenas de populações. Essas são avançadas em *bulk* ou SSD até a geração F₄ ou F₅ e retiradas dezenas de milhares de progênies (BERNARDO, 2010). Essas progênies são avaliadas e submetidas a intensa seleção por dois ou três anos, quando as linhagens começam a participar dos experimentos de valor de cultivo e uso (VCU). O número de linhagens que chegam ao VCU não é muito grande. No primeiro ano,

a maioria é eliminada, e fica um número bem restrito para as avaliações no VCU do segundo ano, número menor ainda, no terceiro ano. No presente caso, apenas nove linhagens foram comuns aos VCU realizados nas três safras, e por isso, foram utilizadas neste trabalho. Deve se ressaltar, que infelizmente, os locais variaram entre os anos, e não foi possível proceder análise dos VCU envolvendo os três anos, apenas dois, e em 9 locais.

As linhagens avaliadas apresentaram diferença significativa ($P < 0.001$), condição essa, indispensável para o que se propunha nessa pesquisa. No entanto, a fonte de variação de linhagens explicou apenas 1,6% da soma de quadrados total, excluindo o erro. Já a interação linhagens x ambientes (locais e anos) foi significativa e explicou 26,2% da variação total (Tabela 4). Esse resultado evidencia que o comportamento das linhagens não foi coincidente nos diferentes ambientes. Outros trabalhos realizados na região também comprovam a existência de interações acentuadas dos GA na cultura da soja (FEREIRA, 2015).

A interação progênies x locais foi mais expressiva do que progênies x anos (Tabela 4). Na literatura, há alguns relatos a esse respeito, com outras espécies e em regiões diferentes, que não são concordantes. Com feijão Ramalho, Abreu e Santos (2001) observaram que a interação linhagens x locais (L x E) foi mais expressiva, como ocorreu nesse trabalho. Já Matos, Ramalho e Abreu (2007) encontraram que a interação linhagens x locais foi de magnitude maior ou semelhante a linhagens x anos (L x A). Ficou, contudo, evidenciado, que a contribuição da fonte de variação linhagens/progênies foi bem inferior àquelas envolvendo as interações. Esse fato foi realçado também por Ferreira (2015).

Existem inúmeras metodologias para se avaliar a adaptabilidade e estabilidade das linhagens (CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989; RAMALHO et al., 2012; YAN; RAJEAN, 2003) e, frequentemente, surgem

novas metodologias. A identificação de cultivares com maior estabilidade fenotípica tem sido uma alternativa muito utilizada para atenuar os efeitos da interação genótipos x ambientes, e tornar o processo de recomendação de cultivares mais seguro.

Segundo Cruz, Regazzi e Carneiro (2004), a adaptabilidade refere-se a capacidade dos genótipos aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente. Já a estabilidade, refere-se a capacidade dos genótipos mostrarem um comportamento altamente previsível, em função do estímulo do ambiente. Usando esse conceito, as linhagens G, B e H, foram as que apresentaram maior adaptabilidade (Tabela 5).

Já a estabilidade pode ser avaliada, como já foi dito, por diversas metodologias, e uma utilizada nesse trabalho foi a ecovalência, e foi identificado que as linhagens que mais contribuíram para a interação foram as linhagens D, I e G (Tabela 6), coincidentemente, as duas de menor média e de maior média nos 26 ambientes (Tabela 5). De modo geral, as mais estáveis tendem a acompanhar a média do ambiente. Do exposto, a linhagem G foi a que apresentou maior adaptabilidade e estabilidade no conceito agrônomo. Já entre os ambientes, a maior contribuição para a interação foi o ambiente 24, Ribeirão Cascalheira, safra 2012/2013. Nesse local, as áreas são novas e ainda em fase de estruturação de sua fertilidade. As menores contribuições para a interação foram os ambientes 12 (Rondonópolis), 18 (Ipiranga) e 15 (Tapurah). Persistindo esse comportamento dos locais, poder-se-ia, no futuro, utilizar-se apenas um deles.

Outra estimativa que pode auxiliar no entendimento da interação é a da herdabilidade realizada (h^2_R), ou seja, quanto da herdabilidade 'passou' de um ambiente para o outro. Se a h^2_R é próxima de 1, indica que a coincidência na classificação das linhagens foi praticamente a mesma nos dois ambientes, por outro lado, quando a h^2_R tende para zero ou é negativa, a classificação das

linhagens, no par de ambientes, foi diferente. Quando é negativa, a h^2_R deve ser considerada nula.

Para estimar a h^2_R é necessário que o efeito de genótipos seja aleatório, como as nove linhagens foram selecionadas, elas não representam nenhuma população de referência, portanto, o efeito é fixo. Nesse caso, a opção é estimar a repetibilidade (r^2), cuja interpretação é semelhante a já comentada para a h^2_R . Constatou-se nesse trabalho, que das 351 estimativas de r (correlação) obtidas, mais de 74,8% são inferiores a 0,4 ou negativas, indicando que a classificação nesses pares de ambientes, foi, como já salientado, muito diferente. Isto também indica que a interação linhagens x ambientes, nesse trabalho, foi predominantemente complexa (CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989; RAMALHO et al., 2012; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Numa situação como essa, fica evidente que a recomendação de linhagens de soja no Mato Grosso só deve ser realizada após as mesmas terem sido avaliadas no maior número de ambientes possíveis, locais e anos.

A visualização da performance das linhagens em todos os ambientes é de fundamental importância para a seleção. Por meio da análise gráfica proposta por Nunes, Ramalho e Abreu (2005) é possível fazer essa visualização. Por exemplo, as linhagens G e B, apresentaram, na maioria dos casos, comportamento superior a média do ambiente, ou seja, apresentaram o comportamento denominado de 'bola cheia', o que evidentemente é desejável. Em contrapartida, o desempenho das linhagens I e D, foi abaixo da média na maioria dos ambientes. Comportamento típico de 'bola murcha' (Figura 6).

6 CONCLUSÃO

A interação linhagens x ambientes é expressiva na cultura da soja no Mato Grosso.

As estimativas das correlações do desempenho das linhagens nos ambientes dois a dois é negativa ou nula, evidenciando que a repetibilidade do desempenho das linhagens é muito pequena. Numa condição como essa, a decisão dos melhoristas na recomendação de uma nova cultivar é muito frágil. A segurança só pode ser aumentada se for avaliado maior número de linhagens, no maior número de ambientes possível.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W. **Princípios de melhoramento genético das plantas**. Rio de Janeiro: E. Blücher, 1974. 381 p.
- ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. 2nd ed. New York: J. Willey, 1999. 254 p.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interations in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, p. 503-508, 1964.
- ALLIPRANDINI, L. F. et al. Efeitos da interação genótipo x ambiente sobre a produtividade de soja no estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 9, p. 1433-1444, set. 1994.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2nd ed. Woodbury: Stemma, 2010. 400 p.
- BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 547 p.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 4. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2005. 525 p.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 529 p.
- BRIM, C. A. A modified pedigree method of selection in soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 220, 1966.
- CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento-plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. cap. 22, p. 673-713.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2015.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 585 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. v. 1, 480 p.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to stability proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 3, p. 567-580, 1989.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistemas de produção 6: tecnologias de produção de soja**. Londrina, 2004. 242 p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4th ed. London: Longman, 1996. 463 p.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development: the oryand technique**. New York: MacMillan, 1987. v. 1, 525 p.

FERREIRA, R. A. D. C. **Implicações do número de anos na recomendação de cultivares de feijoeiro**. 2015. 66 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

FOUILLOUX, G.; BANNEROT, H. Selection methods in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: GEPTS, P. (Ed.). **Genetic resources of Phaseolus beans**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 503-541.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Predictive and post dictive success of statistical analyses of yield trials. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 76, p. 1-10, 1988.

GOULD, C. H. Problems in plant selection. In: INTERNATIONAL GENETICS CONGRESS, 7., 1939, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh, 1939. p. 132-133.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Agronegócio no Brasil e em Mato Grosso**. Disponível em: <<http://www.imea.com.br>>. Acesso em: 15 out. 2015.

KANG, M. S. Using genotype by environment interaction for crop cultivar development. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 62, p. 199-252, 1998.

KIIHL, R. A. S. Um grande pioneiro. **Agroanalysis - Revista de Agronegócios da FGV**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 5, p. 6-8, 2013.

MATOS, J. W. de; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. de F. B. Trinta e dois anos do programa de melhoramento genético do feijoeiro em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1749-1759, nov./dez. 2007.

NUNES, J. A. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 48, p. 182-183, 2005.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. dos. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento-plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 201-230.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Genética na agropecuária**. 5. ed. Lavras: UFLA, 2012. 565 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 3, n. 37, p. 182-194, 2007.

ROMAGOSA, I.; FOX, P. N. Genotype x environment interaction and adaptation. In: HAYWARD, M. D.; BOSEMARK, N. O.; ROMAGOSA, I. (Ed.). **Plant breeding: principles and prospects**. London: Chapman & Hall, 1993. chap. 20, p. 375-390.

SCOTT, R. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping in the analysis of variance. **Biometrics**, Arlington, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fito melhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

WRICKE, G.; WEBBER, W. E. **Quantitative genetics and selection in plant breeding**. New York: Walter de Gruyter, 1986. 406 p.

YAN, W.; RAJEAN, I. Prediction of cultivar performance based on single-versus multiple-year test in soybean. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 549-555, 2003.